

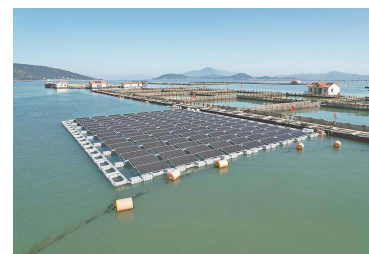
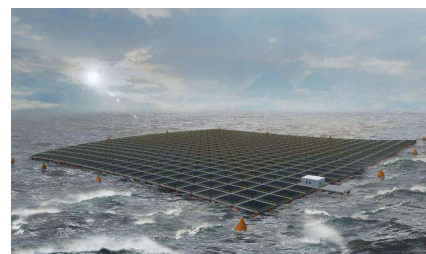
第二届海上新能源发展论坛  
7月13日 中国 济南

# 海上光伏消浪设施及关键技术分析

赵西增

浙江大学

2023年7月12日星期三



海上光伏



**目录**  
*Contents*

**01** 研究背景

02 技术挑战

03 技术难点

04 防波消浪技术

05 总结

# 1 研究背景——国家重大需求

## (1) “碳达峰”与“碳中和”——绿色发展的必由之路



“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于**2030年前达到峰值**，**努力争取2060年前实现碳中和**。”

“各国要树立创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念，抓住新一轮科技革命和产业变革的历史性机遇，推动疫情后世界经济**“绿色复苏”**，汇聚起可持续发展的强大合力。”

——习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话

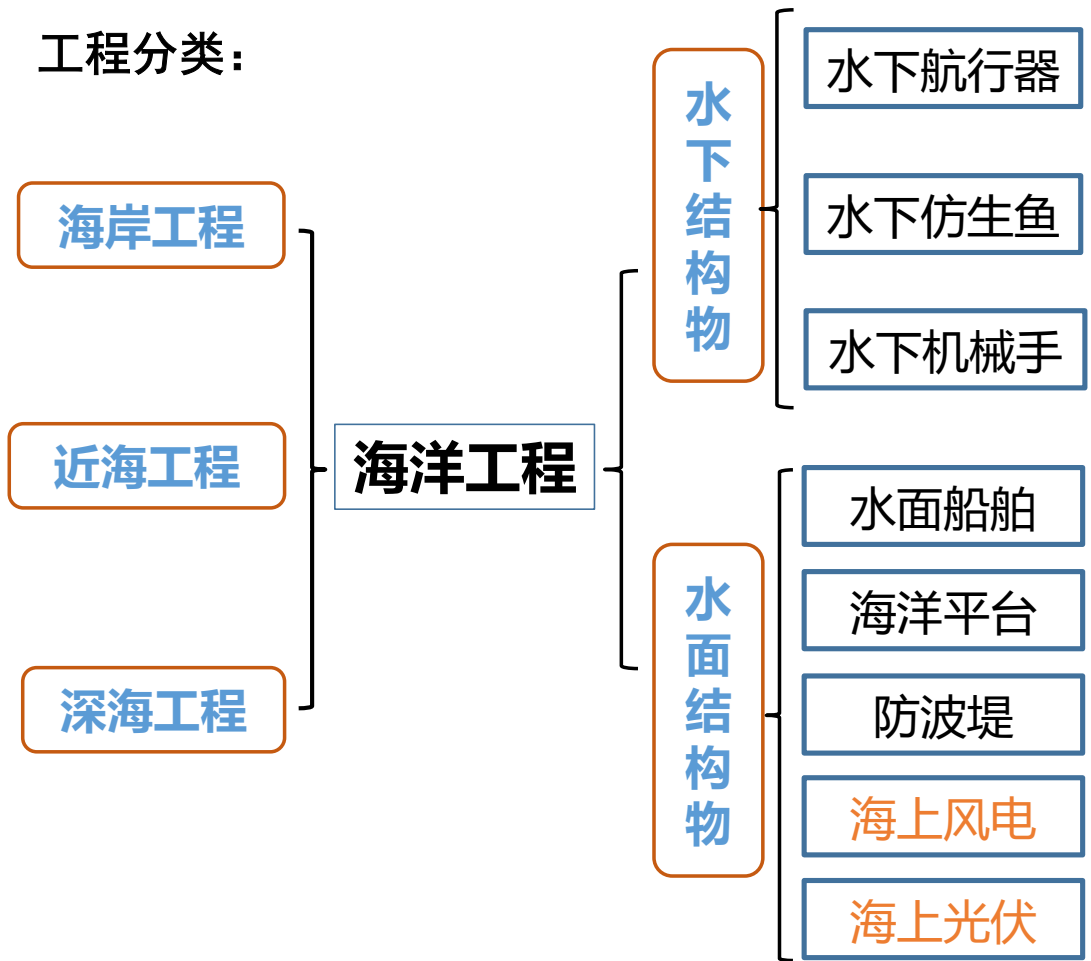
# 1 研究背景——陆海统筹

空间分布：陆地 20.9%  
海洋 70.1%

绿站地图库  
OneGreen.Net



工程分类：



# 1 背景意义-海上能源

## (2) 海上能源助力双碳



能源利用形式：接触式  
非接触式

成熟度 ↓  
商业化 ↑



波浪能



潮流能



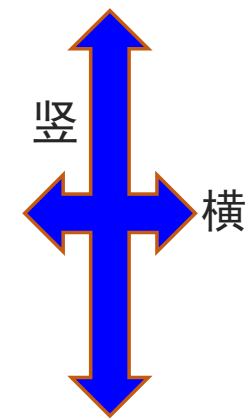
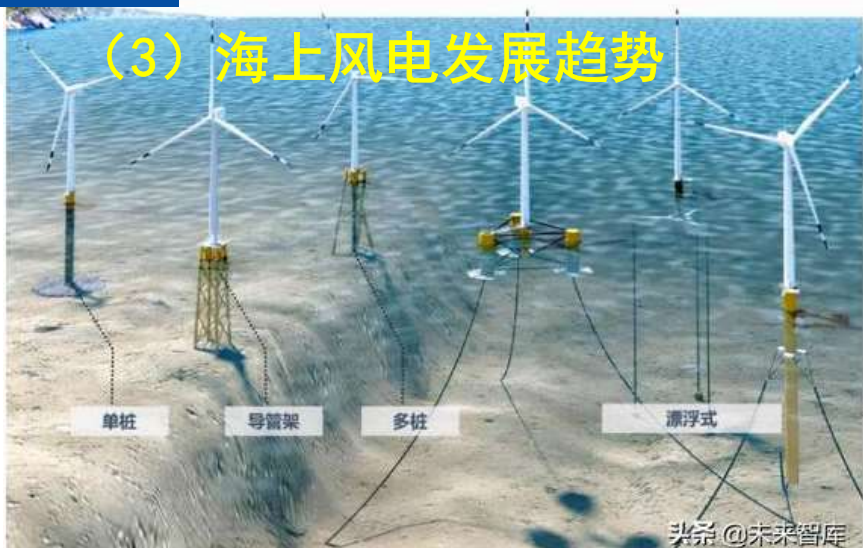
风能



太阳能

# 1 背景意义-风电（空间分布）

## (3) 海上风电发展趋势

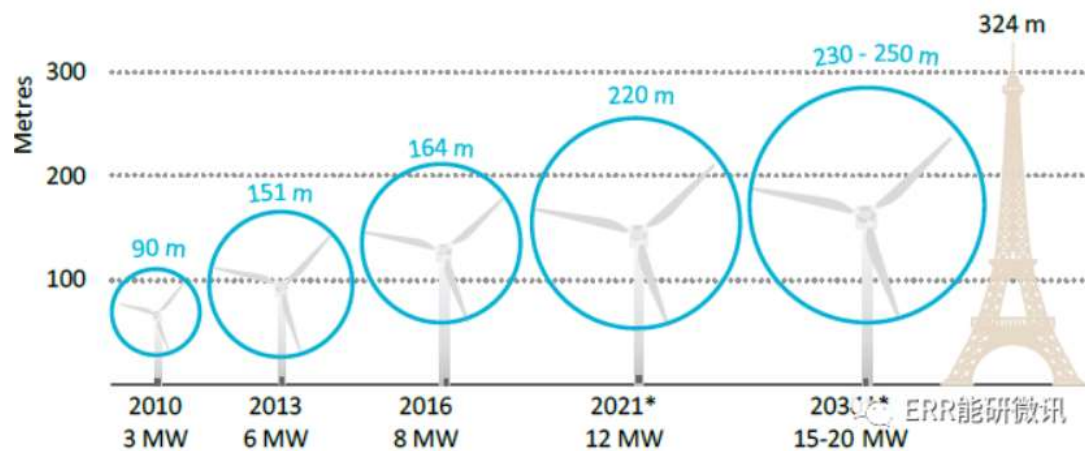


水深?



- 1、陆上-近海-深远海，工作水深越来越大
- 2、固定式-漂浮式，难度越来越大
- 3、装机容量越来越大，叶片尺寸也越大

尺寸?



最大的商用风力涡轮机的演变

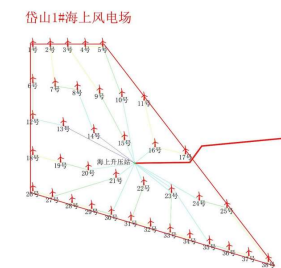
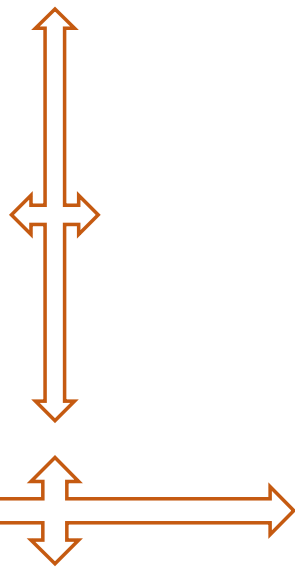
# 1 背景意义-风光空间互补



## (4) 风电与光伏的差异

风电单桩场

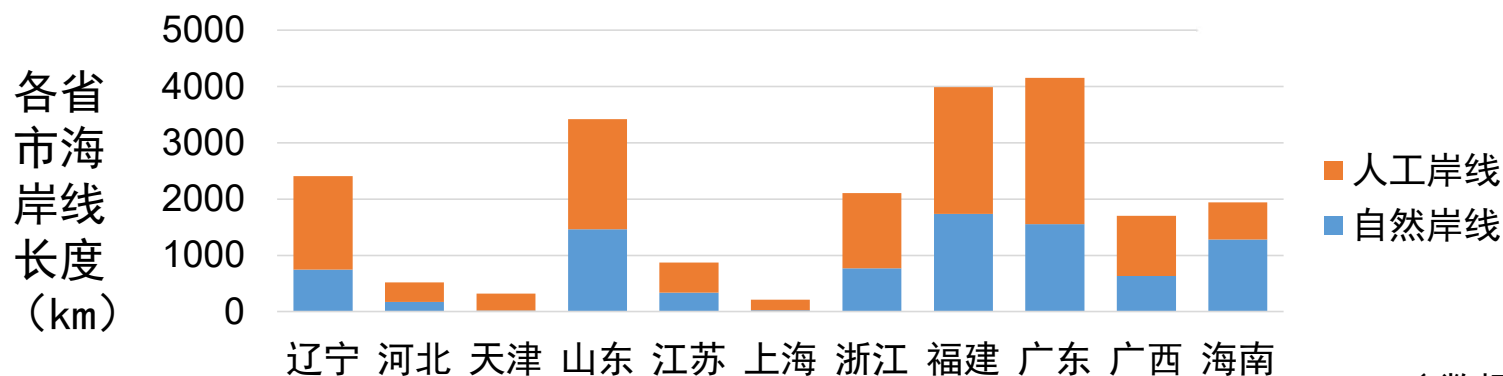
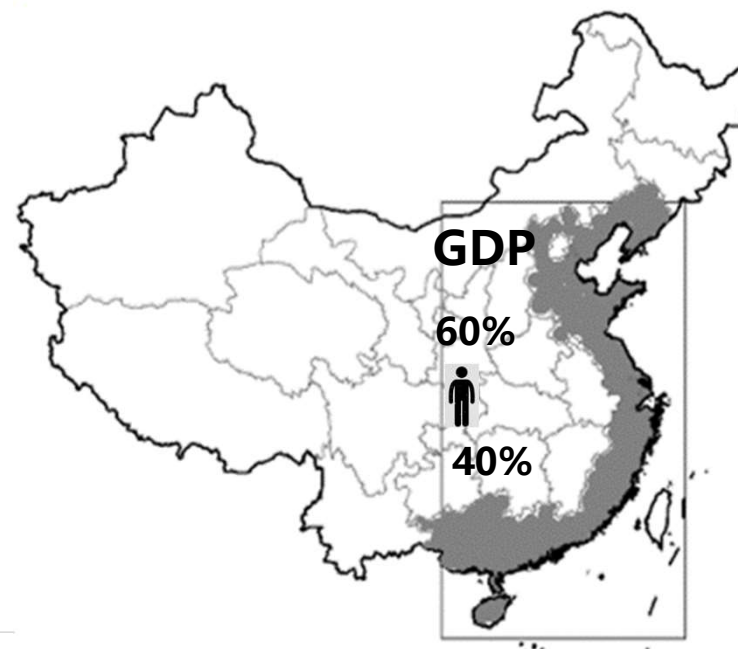
海上光伏群



- 1、风电和光伏都要占用大量海域
- 2、风电叶片远离海面，光伏更接近海面
- 3、风电桩都是大间距，光伏群紧密连接结构
- 4、风电桩纵向发展、单兵作战，分布式光伏“集团”作业



类别	突发性	缓发性
海洋动力灾害	风暴潮 海浪 海啸 咸潮入侵 海雾	海冰 海平面上升
海洋地质灾害	海岸及海底：滑坡 崩塌 地裂	海岸侵蚀 土壤盐化 地面沉降
海洋生态灾害	赤潮 绿潮 水母 金潮	海洋酸化、低氧、滨海湿地退化 海底荒漠化
环境突发事件	海上溢油、危化品泄漏、核泄漏等	



(数据来源：自然资源部海洋减灾中心)

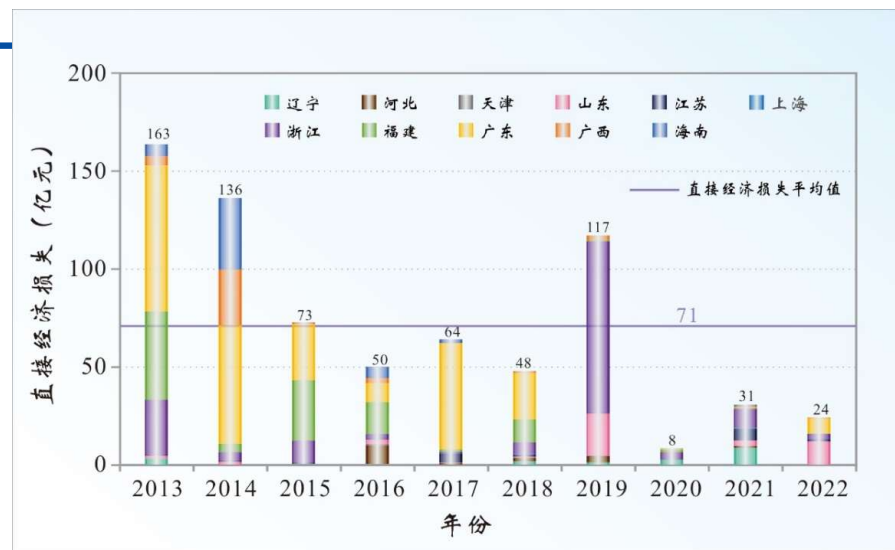
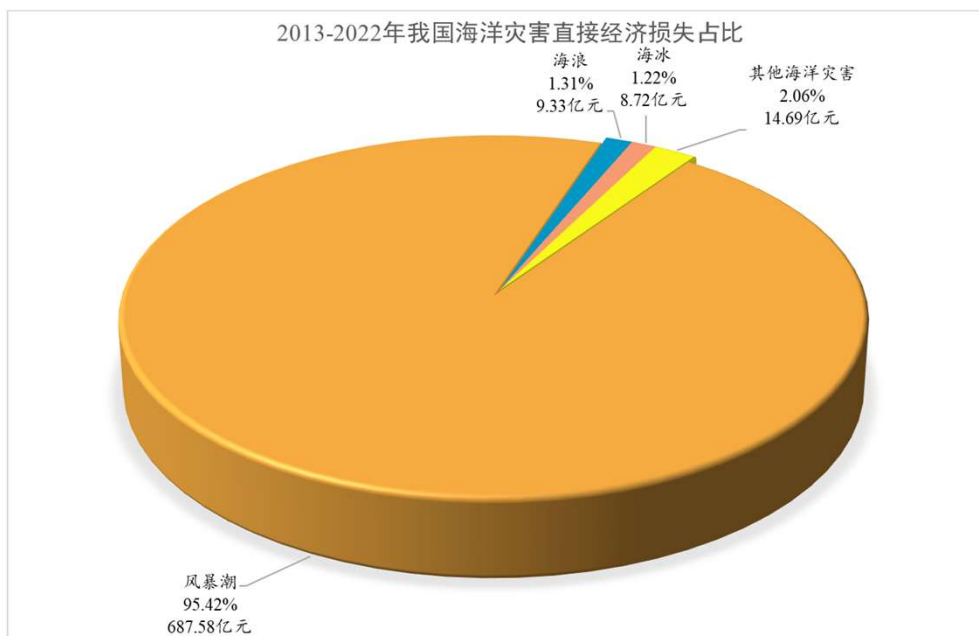


# 2

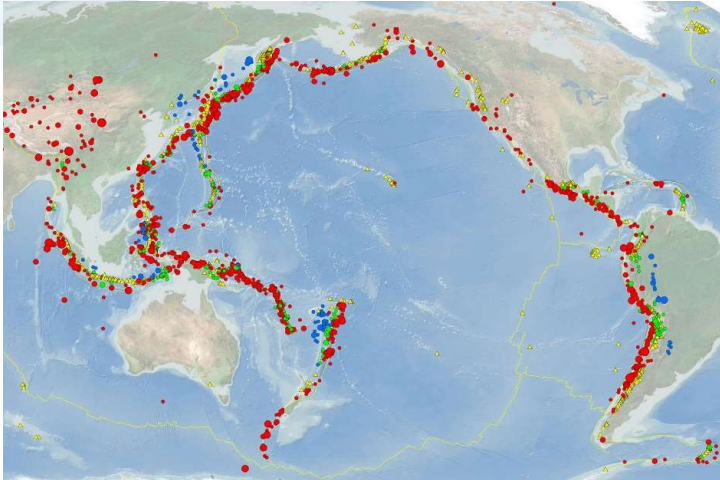
## 技术挑战-海洋动力灾害



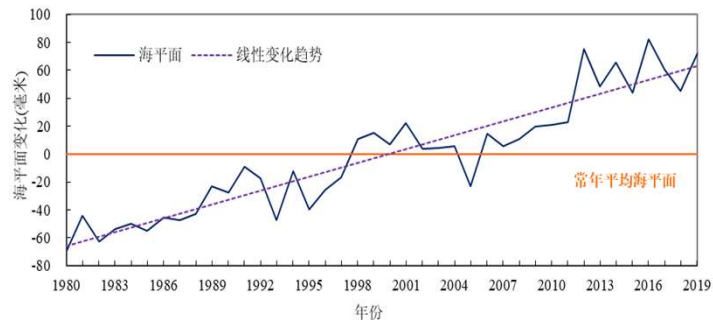
2013-2022年，各类海洋灾害共造成直接经济损失**714.31亿元**，死亡失踪**390人**。其中，**风暴潮、海浪**灾害造成直接经济损失最重，占总经济损失的**96%**以上。



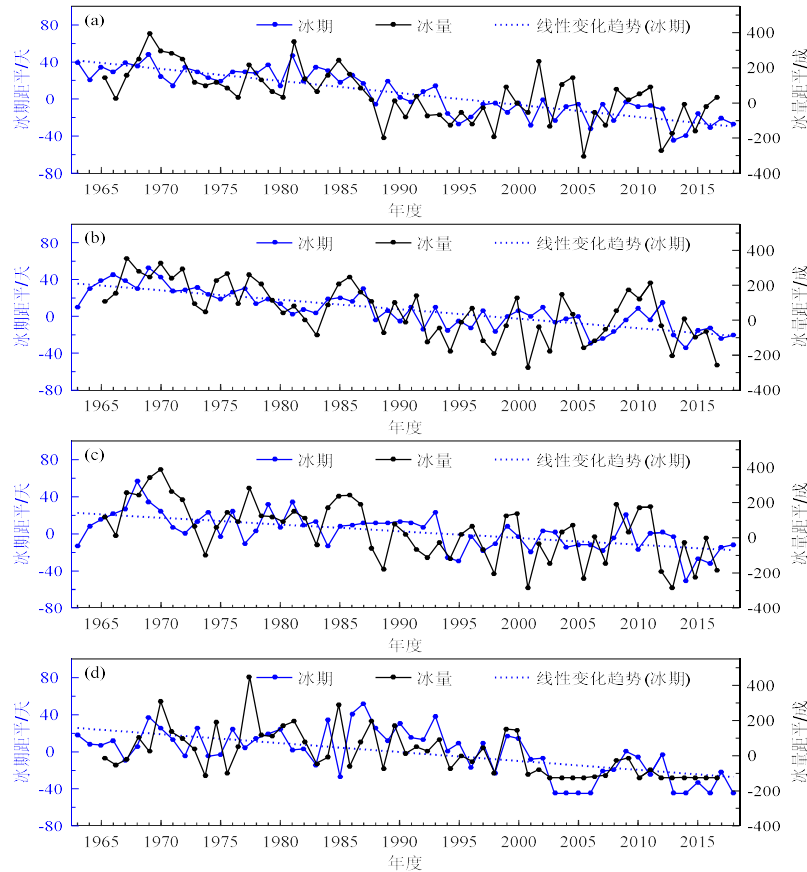
(数据来源: 自然资源部海洋减灾中心)



海啸地震源分布图



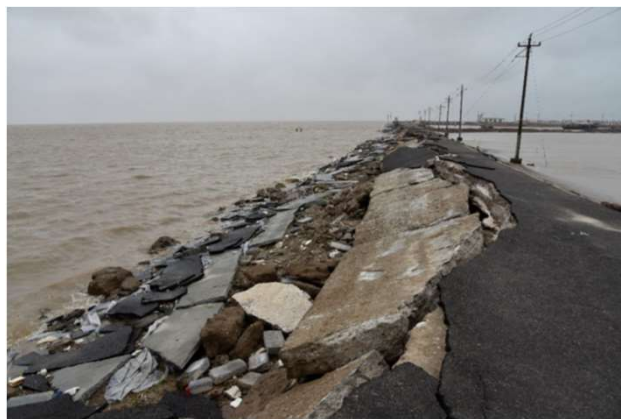
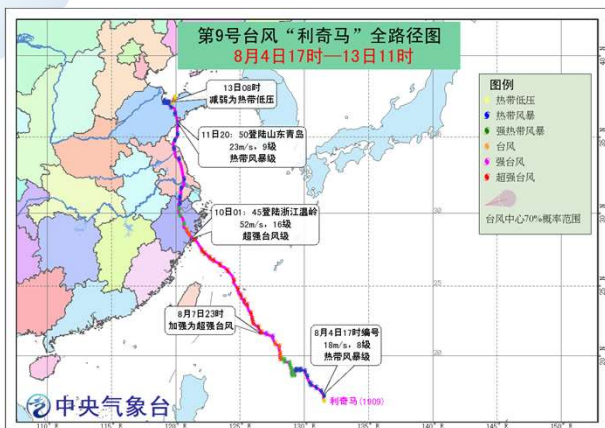
1980 - 2019年中国沿海海平面变化



渤海各站年度海冰冰期和冰量统计图

- ◆ 海啸风险整体较低。
- ◆ 目前中国沿海海平面上升速率约为 $3.9\text{mm/y}$ ，高于全球平均水平 $3.4\text{mm/y}$ 。过去一百年已经上升了 $20\text{cm}$ 。
- ◆ 近十年，我国海冰灾害直接经济损失达 $77.28$ 亿元，主要发生在辽宁省（约占52%）和山东省（约占45%）。渤海各站年度海冰冰期和冰量均呈波动下降趋势。

（数据来源：自然资源部海洋减灾中心）



山东省东营市河口养殖区堤坝损毁



山东省东营市河口养殖区道路损毁



山东省潍坊市盐厂被海水淹没



浙江省温岭市渔船受损



浙江省舟山市养殖网箱受损

（数据来源：自然资源部海洋减灾中心）

➤ **海浪**：我国近海海浪40多个浮标观测数据和近20万轨卫星雷达高度计监测数据，构建了西北太平洋及中国近海近31年的海浪再分析数据集，浪高调查精度为0.1米；

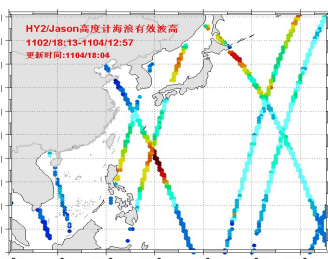
海浪历史资料收集

海浪再分析数据集构建

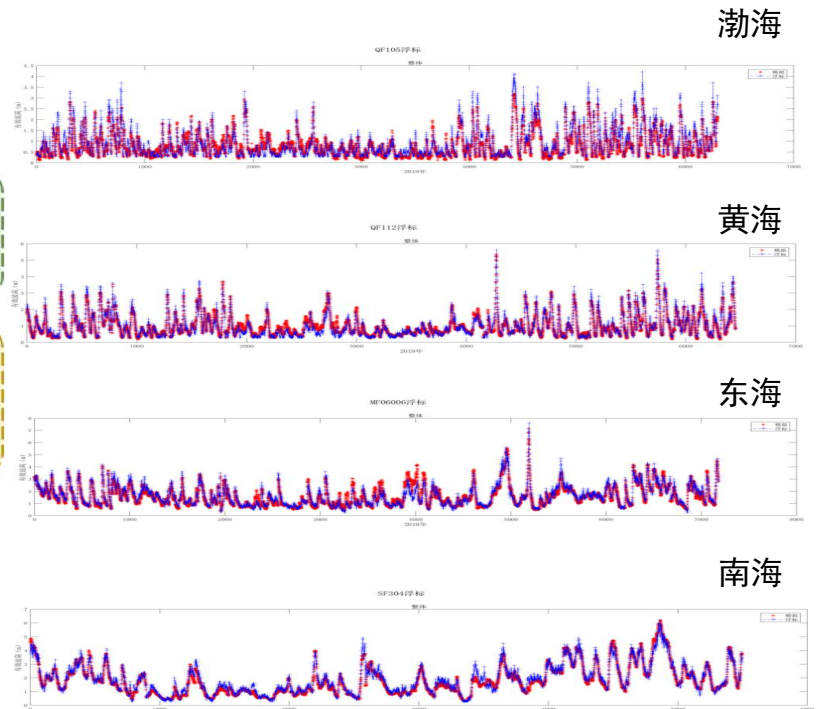
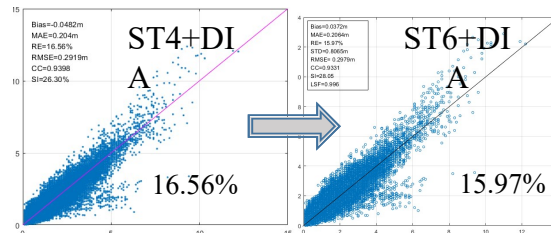
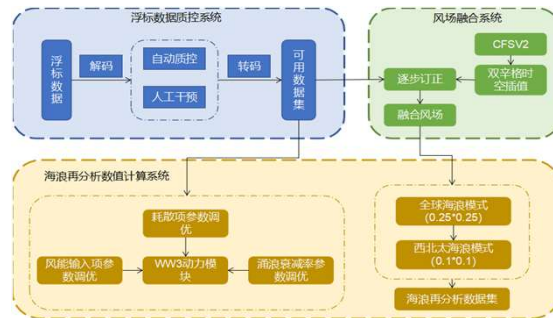
浮标数据



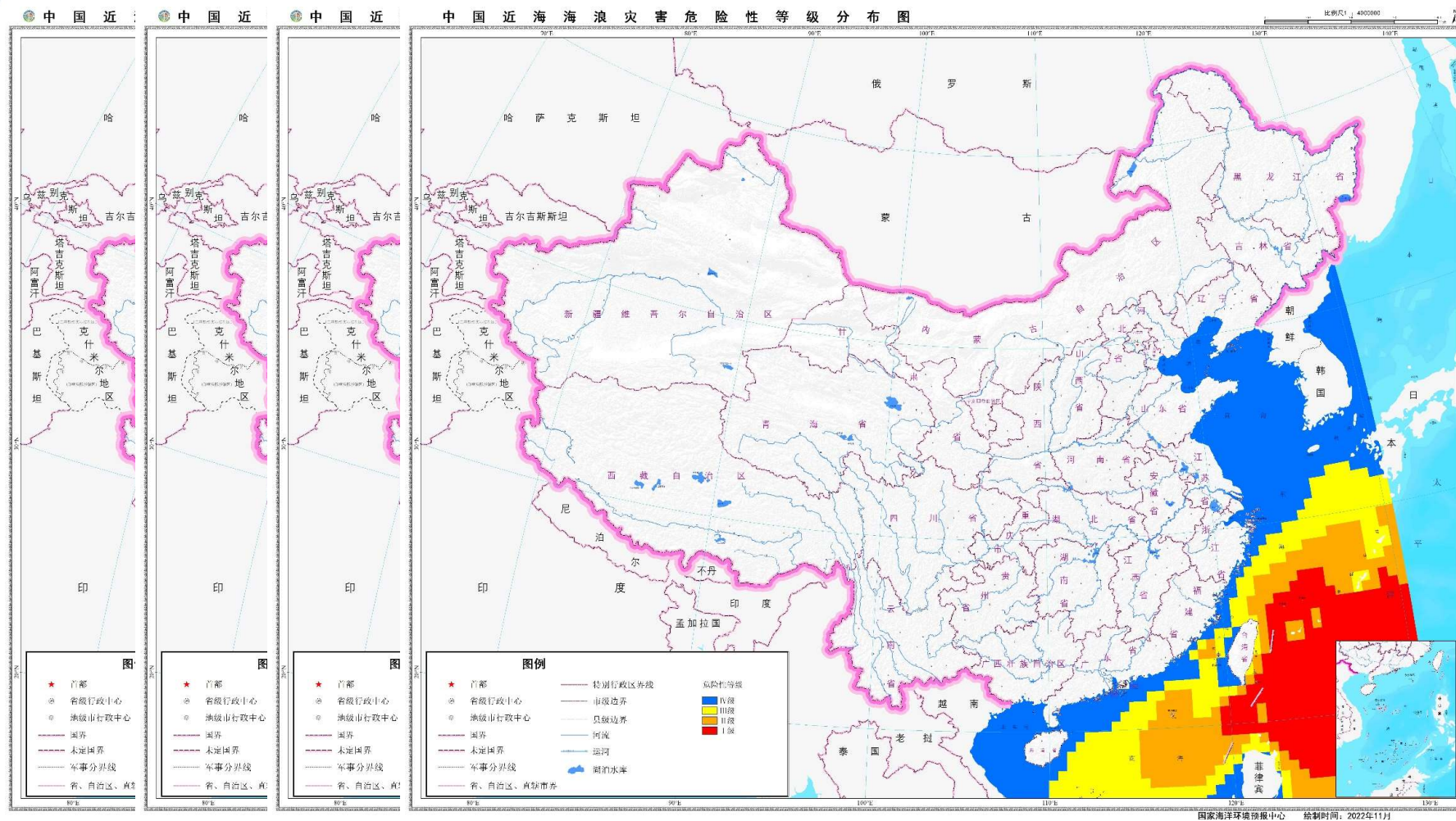
卫星高度计沿轨数据



实况分析图



(数据来源：自然资源部海洋减灾中心)



### 3 技术难点——核心问题

#### (1) 现有水面光伏结构系统 **能否** 适应复杂海洋环境

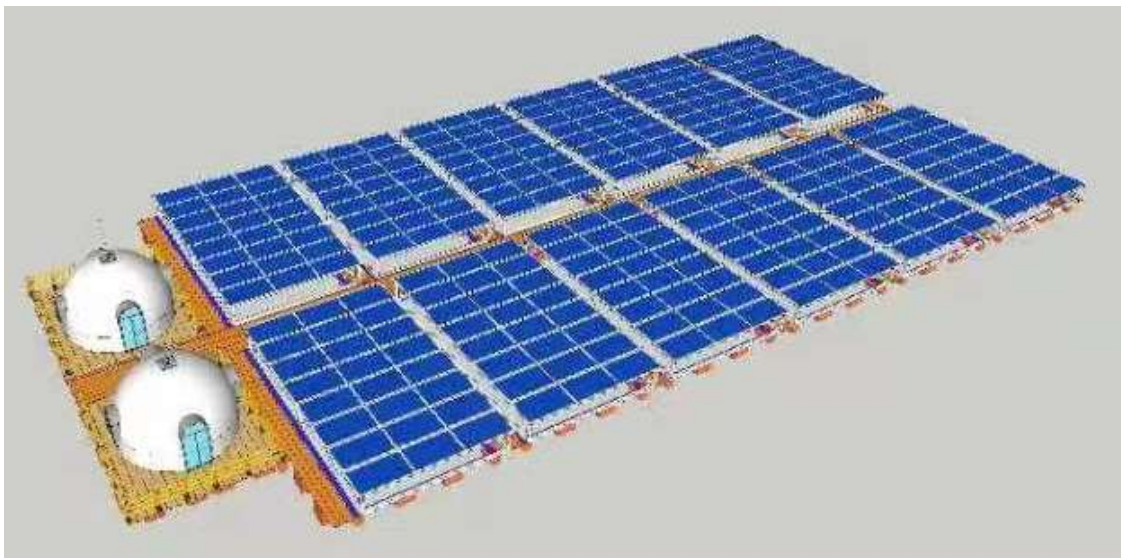


核心难题	现状
浮体结构	适用于湖泊、内河等弱水动力环境
极端耐受	能否抵御台风、寒潮等极端海洋灾害
材料性能	是否考虑海洋生物附着、海水腐蚀等因素
.....	.....

- 现有水面光伏系统**力学性能有限**，**能否**适应严峻的海洋动力环境条件
- 多维海洋要素对分布式光伏系统**作用机制不明确**，**能否**保障系统长效运行

### 3 技术难点——愿景和目标

#### (2) 亟待建立安全、可靠的海上光伏系统

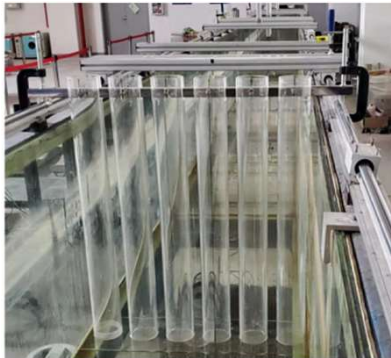


#### 亟需解决的问题

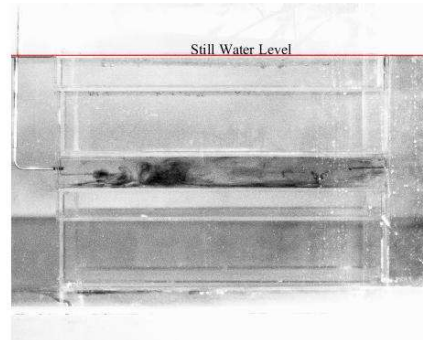
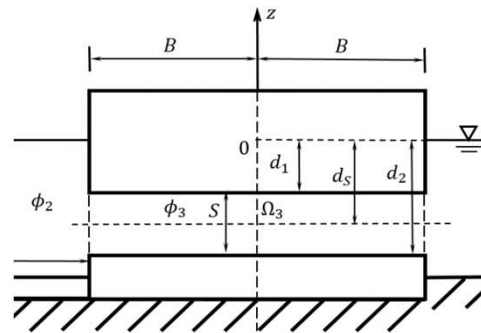
1. 浮式光伏系统水动力响应分析技术
2. 浮式光伏系统结构强度评估技术
3. 浮式光伏系统防波消浪技术
4. 浮式光伏系统绿色性能提升技术
5. . . . .

目标与愿景：解决基础理论和关键技术问题，实现海上浮式光伏系统的优化设计和安全运维，促进中国特色的海洋新能源发展，支撑“双碳”战略目标。

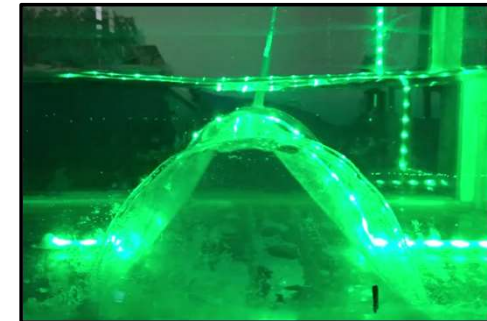
密排桩防波堤



涵洞式直立堤

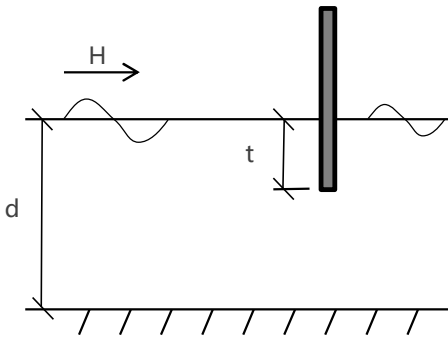


水囊潜堤

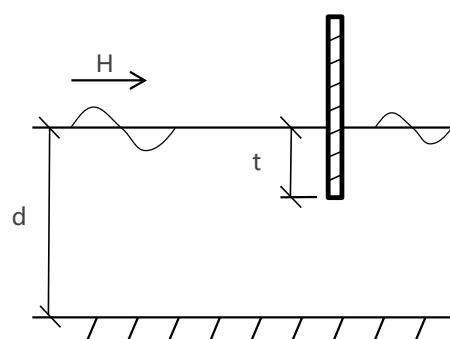




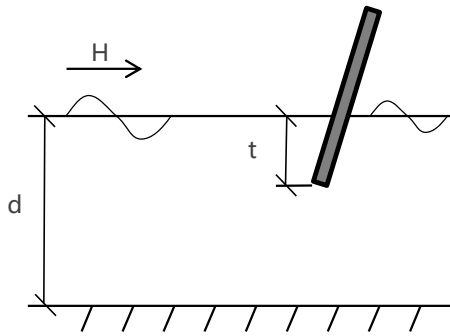
## 插板式防波堤



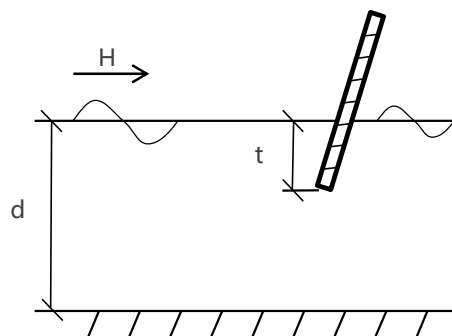
0.3



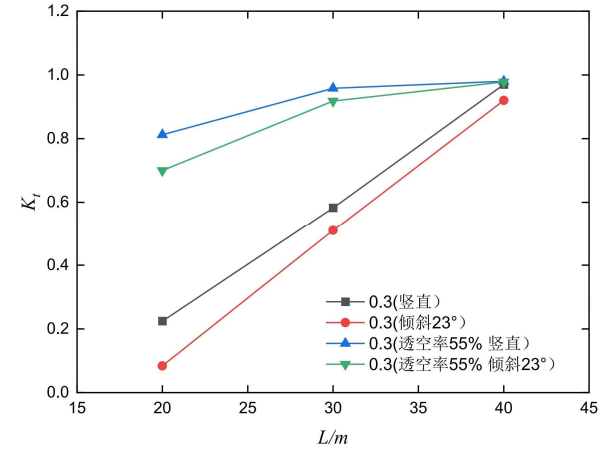
0.3(透空率55% 竖直)



0.3(倾斜23度)



0.3(透空率55% 倾斜23度)



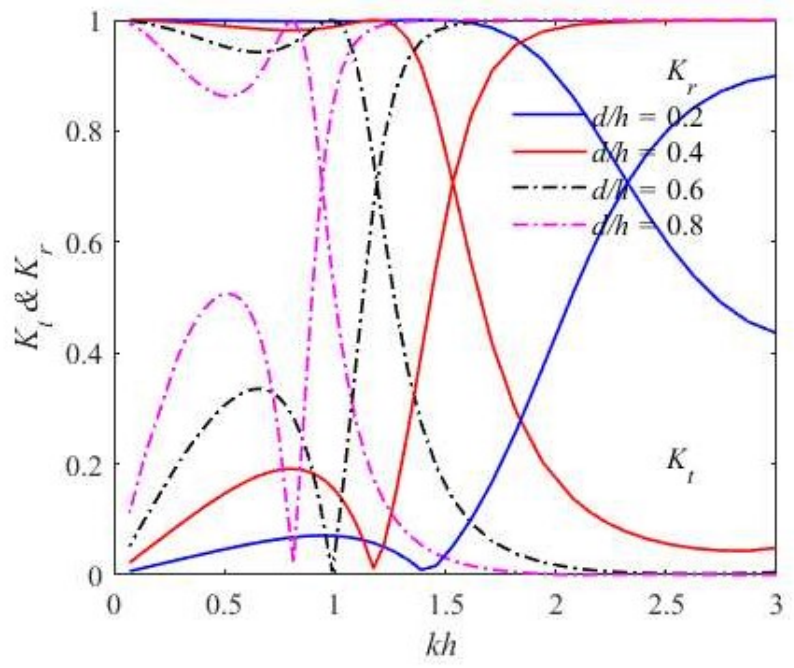
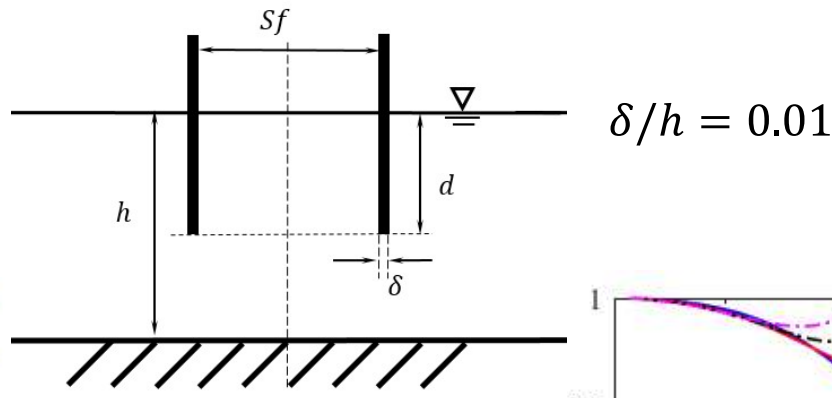
3-5s

象山长大涂光伏防波堤



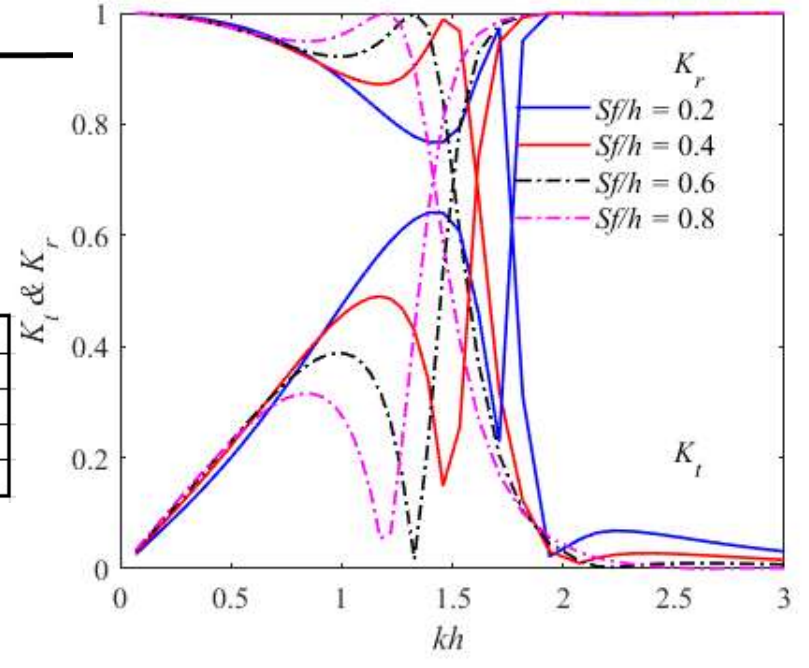
# 3.2 防波消浪技术研究

## 双插板式防波堤的解析结果



插板入水深度对波浪透反射系数的影响

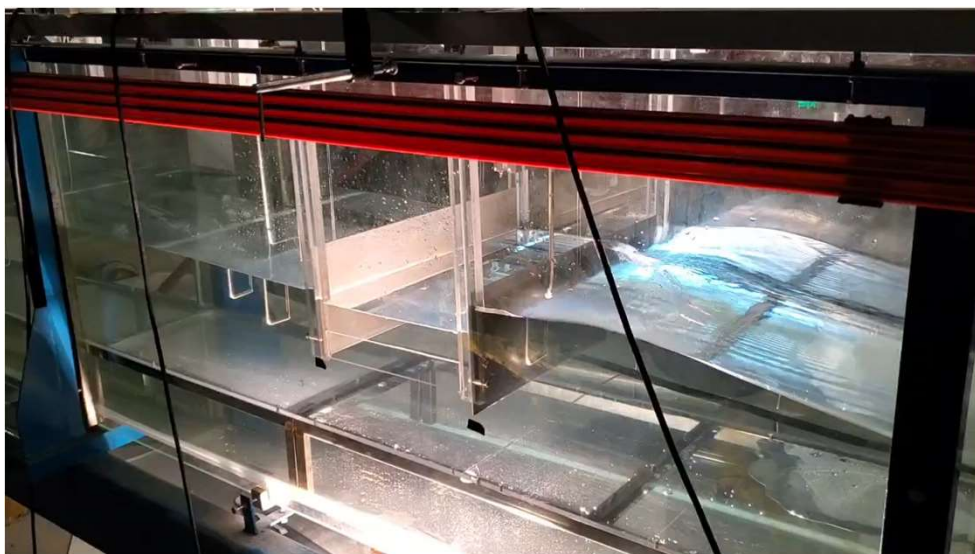
入水深度/mm	透射系数	
	解析	试验
90	0.87	0.52
105	0.82	0.47
120	0.76	0.44



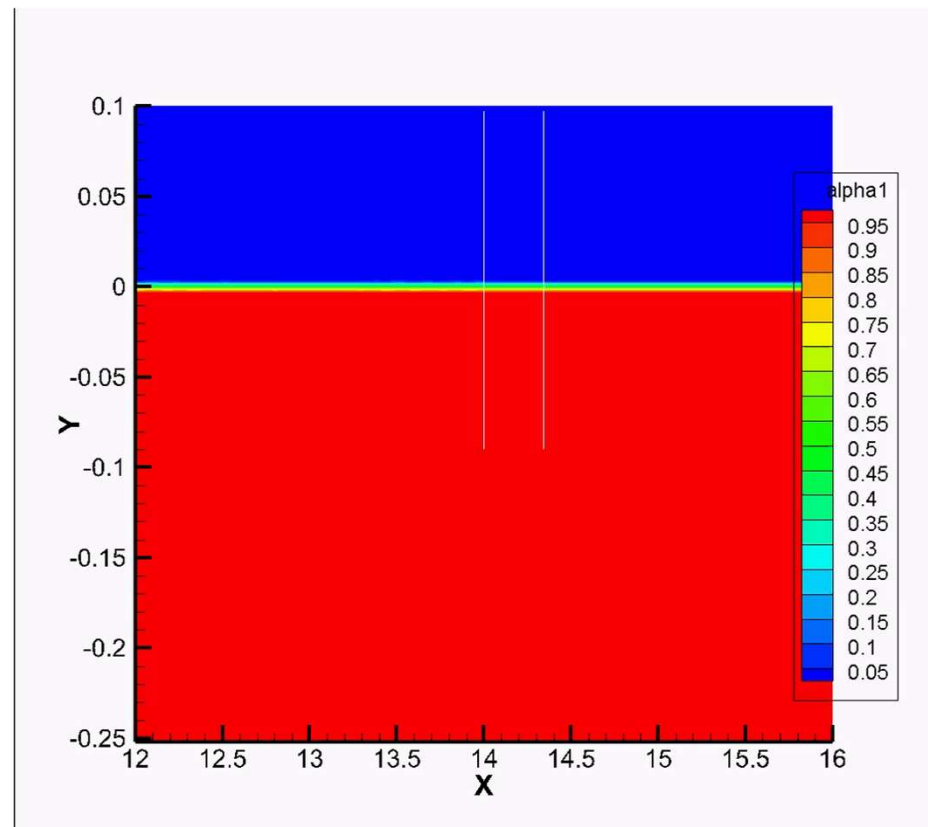
插板间距对波浪透反射系数的影响

## 3.2 防波消浪技术研究

### 插板式防波堤



波浪与双插板作用



波浪与双插板作用的数值模拟

拟突破的关键技术

1、防波消浪结构选型；2、防波堤的适用性和经济性

技术路线

数值建模、模型实验、理论分析有机结合与创新

浮式水囊防波堤



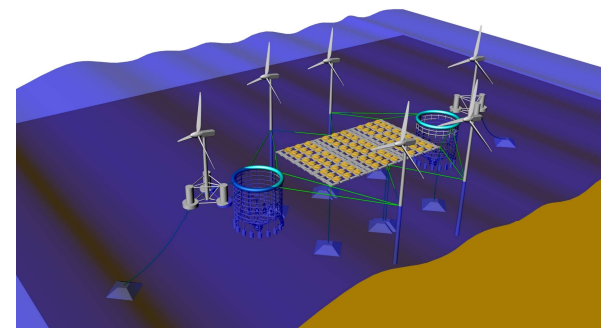
浮式混凝土防波堤

消波性能  
+  
防波堤方案

研究目标和预期产出：

1. 揭示防波堤的水动力和结构动力响应，明确防波堤尺寸和布设型式对性能的影响规律
2. 建立经济成本可控和性能综合最优的防波堤设置方案

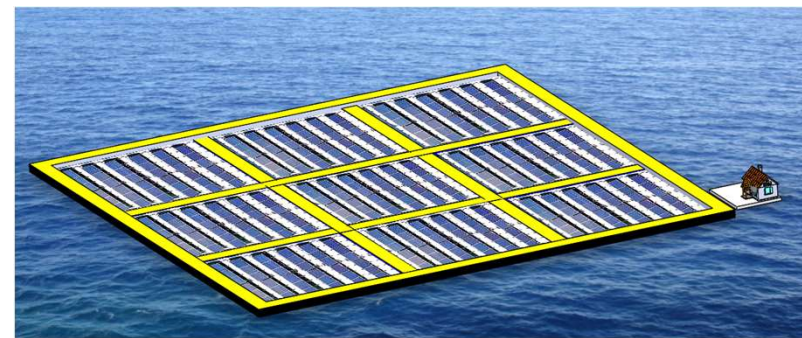
➤ 海上光伏新能源助力国家双碳目标，选址是第一要务



➤ 防波消浪设施的经济性和功能性如何平衡是关键



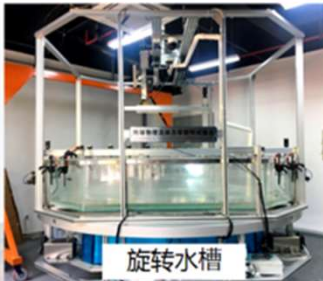
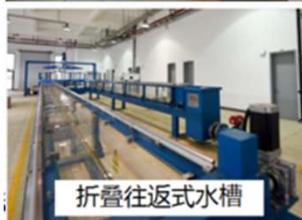
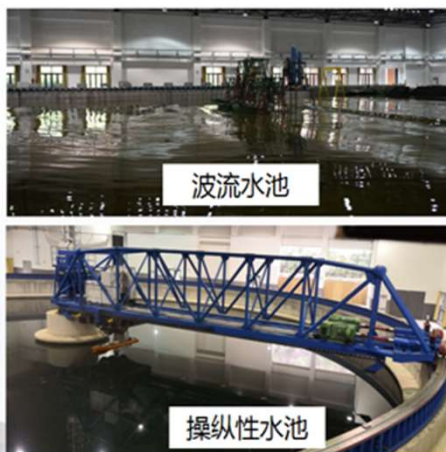
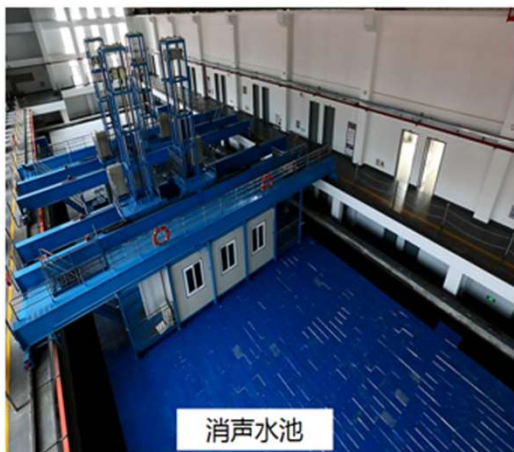
➤ 新型海上漂浮光伏系统亟待开发



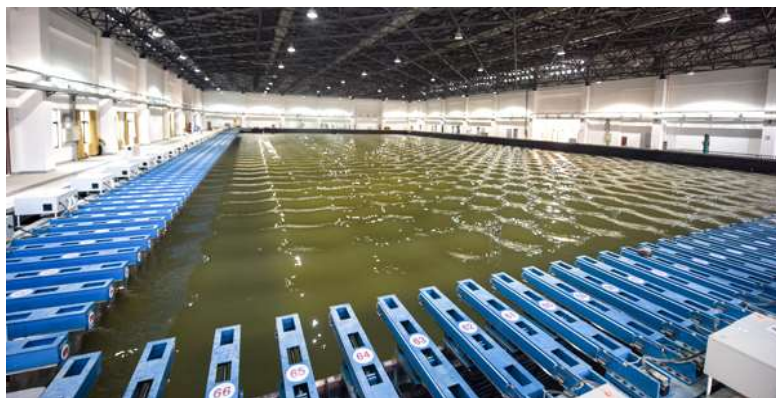
# 浙江大学舟山校区

## ➤ 实验设施

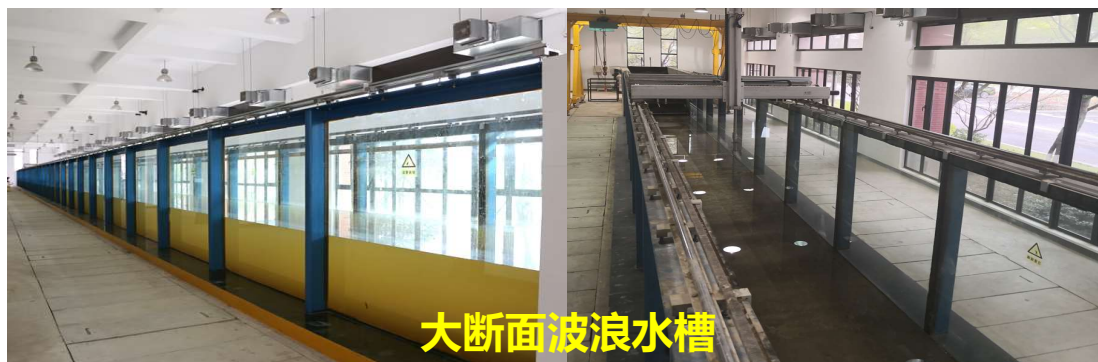
具有国际一流水准，满足各种海洋试验需求的大型海工设施群：**三池、六槽、一筒、一台**



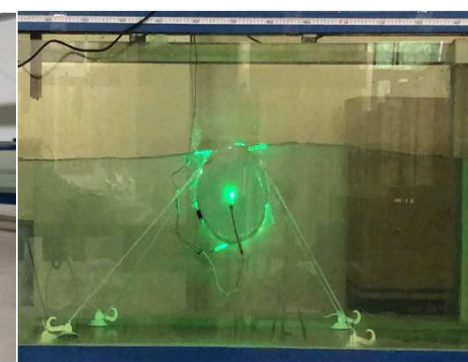
# 浙江大学海洋学院



技术指标：长70米，宽40米，深1.5米，最大试验水深1m，最大流速1.25m/s，最大潮差12cm，波周期范围为0.3~5.0s，波高范围为0.03~0.30m。主要由潮汐模拟设备、潮流模拟设备、泥沙动力学设备、L型移动式造波系统、中央监控系统等组成。



技术指标：长75m，宽1.8m，高2.0m，最大试验水深1.5m，最大流量0.8m/s，造流精度 $\leq 0.03\text{m/s}$ ，波周期范围0.5~5.0s，波高范围0.02~0.60m，吸收式推板造波机可造规则波、不规则波、自定义波。



技术指标：长25米、宽0.7米、高0.7米；水槽首端安装有主动吸收式推板造波机（日本进口），可产生单向二维正弦规则波、不规则波等波型，最大工作水位0.5m、最大设计波高0.2m、可产生的规则波周期为0.5至5.0s。

# 浙江大学摘箬山海洋科技示范岛



摘箬山岛位于舟山市南部，面积2.34K<sup>m</sup><sup>2</sup>，水深条件优越，岸线丰富。2009年5月，浙江大学和舟山市签订全面合作协议，共建“海上浙江”示范基地，并提出“1181”行动计划，建设摘箬山岛“海洋科技示范岛”和“海洋技术海上公共试验场”。

项目领域	项目名称
综合保障(3)	摘箬山岛海外实试基地建设
	教学实习船
	科技展示厅
海洋信息(5)	海洋技术试验系统(海底观测网)
	海洋环境监测系统
	海洋农业物联网系统
	海岛物联网系统
	海洋遥感观测示范系统
海洋能源(2)	风光储流海岛微电网系统
海洋工程(2)	海洋浮式科学试验平台
	海洋工程材料试验场
海洋资源(2)	海洋生物资源平台
	海水综合利用平台



光伏试验场



请大家批评指正

